

Eero Elo

Rakennusaikaisen lämmityksen kustannukset ja menetelmät toimitilarakentamisessa

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Rakennustekniikka

Insinöörityö

23.4.2017

Tekijä Otsikko Sivumäärä Aika	Eero Elo Rakennusaikaisen lämmityksen, kustannukset ja menetelmät toimitilarakentamisessa 35 + 4 liitettä 23.4.2018
Tutkinto	Insinööri (AMK)
Koulutusohjelma	Rakennustekniikka
Suuntautumisvaihtoehto	Projektinhallinta
Ohjaajat	Lehtori Kimmo Sani Rakennuspäällikkö Martti Savolainen Projekti-insinööri Niko Räikkä
<p>Tässä insinöörityössä tutkittiin rakennusaikaisen lämmityksen kustannuksia ja menetelmiä toimitilarakentamisessa. Työ tehtiin Skanska Talonrakenus Oy:n Etelä-Suomen toimitilayksikölle. Työn tavoitteena oli tutkia rakennusaikaisen lämmityksen tuotannon suunnittelua sekä eri lämmitysmuotoja, ja löytää tutkimuksen avulla toimitilarakentamisen runkovaiheeseen soveltuvia kustannustehokkaita lämmitysmenetelmiä.</p> <p>Insinöörityö toteutettiin tutustumalla aiheesta löytyviin kirjallisuuslähteisiin, verkkodokumentteihin sekä keräämällä tietoa eri energiantoimittajilta. Työssä haastateltiin Skanska Rakennuskoneen Nurmijärven yksikön lämmitysvastaavaa. Haastattelun avulla saatiin tietoa eri lämmitysmuotojen toimintavarmuuksista sekä käytön aikaisista kustannuksista.</p> <p>Työssä laskettiin eri lämmitysmenetelmien ja aukon suojauksen kokonaiskustannuksia. Lähtötietoina kustannuslaskelmille toimi Skanska Talonrakennus Oy:n Aviabulevardi II hanke. Aukon suojauksen kustannuslaskelmissa otettiin huomioon eri suojausmenetelmien lämpöhäviöt, joita verrattiin suojan rakentamis- ja materiaalikustannuksiin. Lämmitysmenetelmien kustannuksissa otettiin huomioon laitevuokrat, asennus- ja purkukustannukset, liittymiskustannukset sekä energiankustannukset.</p> <p>Työn tuloksia voidaan soveltaa tulevien hankkeiden tuotannonsuunnittelussa, lämmitysjärjestelmien valinnassa sekä kustannuksien arvioimisessa.</p>	
Avainsanat	Rakennusaikainen lämmitys, sen kustannukset ja menetelmät, rakennusaikainen lämmitys, talvirakentaminen

Author Title Number of Pages Date	Eero Elo The Costs and Methods of Heating in Construction Premises 35 pages + 4 appendices 23 April 2018
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Construction engineering
Specialisation option	Project Management
Instructors	Kimmo Sani, Lecturer Matti Savolainen, Construction Manager Niko Räikkä, Project Engineer
<p>In this thesis, the costs and methods of construction heating during construction phase were studied. The research was done to Skanska Talonrakennus Oy's unit of Southern Finland construction of premises. The objective of the thesis was to study the design and production of the costs and methods of construction heating during the construction phase and the forms of heating, and furthermore, to find different cost efficient heating methods suitable for the phase of the commercial building.</p> <p>The thesis was carried out by investigating the sources of literature, network resources and gathering information from different energy suppliers. In this project, the heating manager of Skanska Rakennuskone unit of Nurmijärvi was also interviewed. The interviews were implemented to obtain information about the operational reliability of different heating methods and costs of use.</p> <p>The total cost of the different heating methods and opening protection was computed. Data for cost calculations were gained from the Aviabulevardi II project of Skanska Talonrakennus Oy. In the cost calculation of the opening protection heat losses of different protection methods were considered and then compared to certain opening protection installation and material costs. The costs of the heating methods included the equipment rental, installation and dismantling costs, connection costs and energy costs.</p> <p>The results of the research can be applied in future projects in terms of production planning, selection of heating system and the evaluation of costs.</p>	
Keywords	Costs and methods of construction heating Costs and methods of construction heating during construction phase, winter construction

Sisällys

Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Rakennusaikainen lämmittäminen	3
2.1	Etelä-Suomen talviolosuhteet	3
2.2	Lämmityksen tuotannon suunnittelu	4
2.3	Ilman kosteus ja lämmön siirtyminen	7
2.4	Ilmalämmitys	9
3	Lämmityskaluston valinta	11
3.1	Lämmitysjärjestelmät ja niiden valinta	11
3.2	Sähkölämmittimet ja vesikiertoiset lämmitimet	12
3.3	Öljylämmitys runkovaiheessa	14
3.4	Nestekaasulämmitys	17
3.5	Rakennusaikainen kaukolämpö	19
4	Aukkojen suojaus osana lämmittämistä	22
4.1	Suojausmateriaalien U-arvot	23
4.2	Johtumisteho eri aukonsuojaus tavoilla	27
4.3	Lämpöhäviön kustannukset	31
5	Rakennusaikaisen lämmityksen kustannusjakauma	32
6	Yhteenveto	34
7	Johtopäätökset	36
	Lähteet	37

Liitteet Liitteet vain työn tilaajan käyttöön

Liite 1. 1 (1) Rakennusaikaisen lämmityksen kustannukset

Liite 2. 1(3) Suojauksen kustannukset

Liite 3. 1(10) Eri lämmitysmuotojen kustannukset

Liite 4. 1(2) Kustannusten yhteenveto

1 Johdanto

Tämän insinöörityön aiheena oli rakennusaikainen lämmitys, sen kustannukset ja menetelmät toimitilarakentamisessa. Tämä työ tehtiin Skanska Talonrakennus Oy:n Etelä-Suomen toimitilarakentamisen yksikölle. Työn aihe valikoitui, koska siitä ei ole tehty aikaisempaa kirjallisuutta tai tutkimustyötä, jotka käsittelisivät eri lämmitysmenetelmien kustannuksia. Rakennusaikainen lämmitys on merkittävä osa rakennusurakan käyttö- ja yhteiskustannuksia. Kustannuksista ei kuitenkaan löydy menekkitietoja tuotannonsuunnittelun tueksi. Rakennusaikaisen lämmityksen suunnittelu tehdään yleensä hyväksi havaittujen menetelmien ja työtä suunnittelevan organisaation henkilöstön kokemukseen perustuen.

Rakennusaikaiseen lämmitykseen on olemassa useita eri vaihtoehtoja. Oikean ja kustannustehokkaan vaihtoehdon löytäminen voi olla haastavaa ja aikaa vievää. Koska rakennushankkeissa päädytään käyttämään aikaisemmin hyväksi havaittua lämmitysjärjestelmää, vaikka muista järjestelmistä ei olisikaan kokemusta, ei näin ollen välttämättä osata valita kustannustehokkainta ratkaisua. Työn tavoitteena oli vertailla eri lämmitysmuotojen toimivuutta ja kustannuksia toimitilarakentamisessa. Toimitilarakennuksissa käytetään usein samanlaisia runkoratkaisuja, jolloin tutkimuksen tavoitteita voidaan soveltaa laajemmin tulevilla hankkeilla tuotannonsuunnittelussa. Työn kustannuksia koskeva osio on kerätty erillisille liitteille, jotka ovat vain Skanska Talonrakennus Oy:n sisäisessä käytössä, eikä niitä julkaista varsinaisessa opinnäytetyön versiossa.

Yksi rakennusaikaisen lämmityksen aloituksen edellytyksistä on rakennuksen vaipan tiivistys. Tuotu lämpö saadaan pysymään rakennuksessa ja saadaan ylläpidettyä olosuhteita, että tuotanto ei häiriinny. Myös tiivistykselle on monia eri vaihtoehtoisia menetelmiä. Työn yhtenä tavoitteena oli vertailla vaipan aukkojen suojauksen menetelmiä ja laskea niille työn, materiaalien sekä lämpöhäviöiden kustannuksia.

Työstä on rajattu työmaa-aikasten toimisto- ja sosiaaliilojen lämmityskustannukset ja menetelmät pois. Tässä työssä käsiteltiin runkovaiheessa olevan toimitilan lämmityksen menetelmiä ja kustannuksia.

Insinööritö toteutettiin tutustumalla aiheesta löytyviin kirjallisuuslähteisiin, verkkodokumentteihin sekä keräämällä tietoa eri energian toimittajien kustannuksista. Työssä haastateltiin Skanska Rakennuskone Oy:n Nurmijärven yksikön kalustovastaavaa. Haastattelun avulla selvitettiin eri lämmitysmuotojen toimintavarmuuksia sekä käytön aikaisia kustannuksia.

2 Rakennusaikainen lämmittäminen

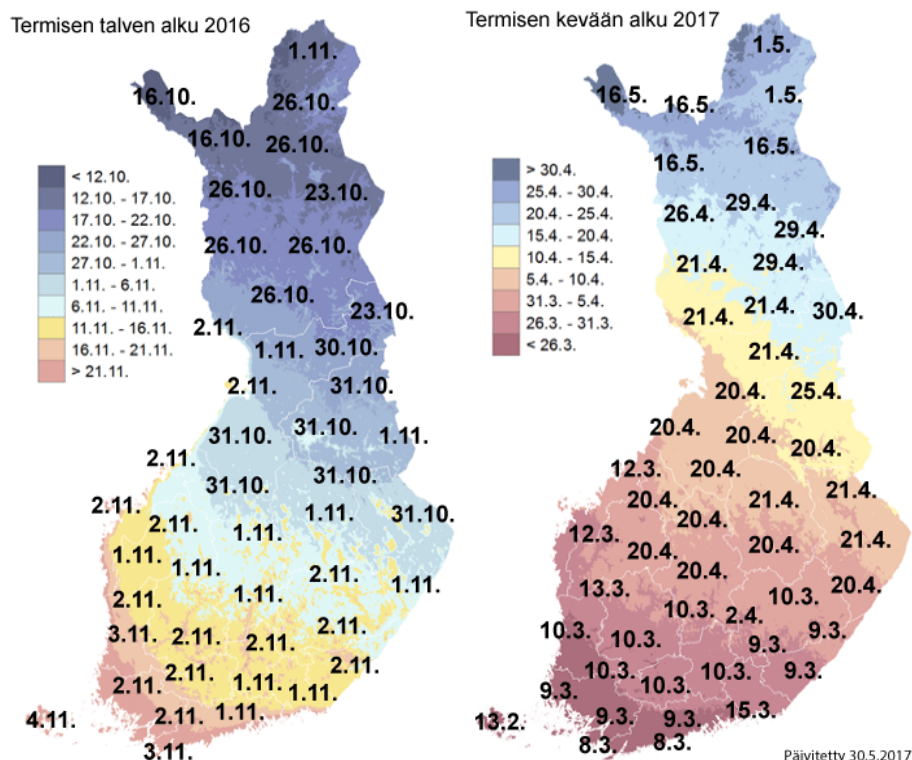
Rakennusaikaisen lämmityksen osiossa käydään läpi talviolosuhteita ja miten talviolosuhteet voidaan ottaa huomioon talvirakentamisessa. Lisäksi otetaan huomioon talvirakentamisen tuotannonsuunnittelua, miten tuotannonsuunnittelussa voidaan ottaa huomioon rakennusaikainen lämmitys ja mitä etuja sillä saavutetaan.

2.1 Etelä-Suomen talviolosuhteet

Talvikausi alkaa, kun vuorokauden keskilämpötila tippuu nollan alapuolelle. Etelä-Suomessa talven keskimääräinen pituus on 140 vuorokautta. Myös syksyllä ja keväällä on satunnaisia kylmempiä ajanjaksoja. Kun nämä syksyn ja kevään kylmät ajanjaksot lisätään talven 140 vuorokauteen, tulee niistä yhteensä noin puoli vuotta. Tästä syystä suomessa on hallittava erilaiset menetelmät ja keinot, jotta talvellakin pystyttäisiin rakentamaan laadukkaasti sekä kustannustehokkaasti. Talvirakentaminen lisää poikkeusta työmenekkiä, rakennusmateriaalin kulutusta, sekä hidastaa rakentamista. Talvella koneiden ja kaluston tarve on suurempi sekä energian tarve lisääntyy huomattavasti. Myrskyt, pakkanen, vesi- ja lumisade hidastavat rakennustyötä aiheuttaen usein keskeytyksiä. Jos näitä sääilmiöitä ei osata huomioida tuotannonsuunnittelussa, niistä syntyy vähitellen suuria lisäkustannuksia. Koneista, laitteista ja energiakustannuksista voidaan laatia suunnitelmat ja tehdä niiden pohjalta laskelmat. Talviolosuhteita voidaan arvioida tilastojen perusteella. Tilastoista saadaan esimerkiksi kuukausien keskilämpötiloja sekä termisen talven alkuajankohtia. [1.]

Alempana kuva ilmatieteenlaitoksen sivuilta otetusta tilastotiedosta, jossa oikealla näkyy termisen talven alkamisajankohta vuonna 2016 eripuolilla Suomea. Termisen talven alkamispäivämäärät näkyvät mustalla ja värilliset vyöhykkeet kuvaavat termisen talven keskimääräistä alkamisajankohtaa vertailukaudella 1981 - 2010. [3.]

Oikealla kuvassa näkyy termisen kevään alkamisajankohta vuonna 2017, jossa mustalla on päivämäärä termisen kevään alkamisesta ja värilliset vyöhykkeet kuvaavat kevään keskimääräistä alkamisajankohtaa vertailukaudella 1981 - 2010. [3.]



Kuva 1. Termisen talven alkaminen ja päättyminen 2016 – 2017. [3.]

2.2 Lämmityksen tuotannon suunnittelu

Tässä luvussa käsitellään rakennusaikaista lämmitystä tuotannosuunnittelun näkökulmasta, millaisia etuja ja säästöjä hyvällä tuotannosuunnittelulla voidaan saavuttaa.

Rakennuksen lämmittäminen ja kuivattaminen suunnitellusti parantavat töiden sujuvuutta sekä ajallista toteutusta ja sitä kautta yrityksen kannattavuutta. Taloudellinen hyöty saadaan useista erilaisista säästöistä. Suurin taloudellinen säästö saadaan rakennusajan lyhenemisellä, joka vaikuttaa erityisesti käyttö- ja yhteiskustannusten suuruuteen. Rakennuksen lämmittämällä saavutetaan nopeammin materiaalien pinnoitettavuus ja pystytään aloittamaan sisävalmistustyöt aikaisemmin. Ilman rakennuksen lämmittämistä sisävalmistustyöt eivät onnistuisi talvella lainkaan. [2. s.6.]

Rakentamisen tuotannosuunnittelussa pyritään selvittämään hankkeen ajoitukseen ja kustannuksiin vaikuttavia tekijöitä, vertaillaan eri tuotantomenetelmiä sekä varaudutaan mahdollisiin tuotannon häiriöihin. Suunniteltaessa työmaan lämmitystä tehdään ennak-

kovalmistelut jokaisesta lämmitettävästä kohteesta. Lämmitys- ja kuivaustoimet otetaan huomioon aikataulun suunnittelussa sekä työmenetelmien valinnassa. Tavoitteena on lopullisen lämmitysjärjestelmän käyttöönotto mahdollisimman aikaisessa vaiheessa, jolloin tilat saadaan lämmitettyä tasaisesti. Lämmityksen suunnittelun tärkeys korostuu ympärivuotisella rakennustyömaalla. [1.]

Rakennusaikaisen lämmityksen tavoitteena on saavuttaa hyvät olosuhteet työskenteleyn, tilojen sekä rakenteiden kannalta, jotta rakenteet täyttävät suunnitelma-asiakirjojen vaatimukset. Eri rakennusvaiheissa on erilaiset vaatimukset lämmityksen suhteen. Runkovaiheessa on olennaista saada betonoinnille ja betonin kuivumiselle suotuisat olosuhteet. Talvella lämmittäminen aloitetaan alemmista kerroksista jo ennen kuin koko runko on saatu pystytettyä. [4.]

Rakennuksen lämmittämistä ei ole kannattavaa aloittaa ennen kuin siihen on oikeanlaiset olosuhteet ja aloitusedellytykset ovat kunnossa. Oikeanlaiset olosuhteet ja edellytykset voidaan saavuttaa seuraavilla toimenpiteillä:

- Suojataan materiaalit ja tarvikkeet, jolloin minimoidaan vesi- ja lumisateen aiheuttama kosteus.
- Pyritään minimoimaan vedenkäyttö eri työvaiheissa kuten betonointi, vedellä pesu, yms.
- Aloitetaan lämmittäminen vasta, kun voidaan varmistua siitä, että lämpö pysyy rakennuksessa eikä karkaa harakoille.
- Asetetaan väliaikainen lämmitys ja lopullinen lämmitys välitavoitteiksi yleisaikatauluun.
- Rakennuksen lopullinen lämmitysjärjestelmä tulisi saada mahdollisimman aikaisessa vaiheessa toimimaan, jotta saataisiin lämpö jakautumaan tasaisesti.
- Mahdollinen lumi, jää sekä vesi hidastavat rakenteen kuivumista, joten nämä tulisi poistaa rakenteista ennen lämmittämisen aloittamista.

- Ikkunat, ovet, porrashuoneet sekä muut aukot on suljettava ja tiivistettävä huolellisesti.
- Haalausaukot on suunniteltava huolella, esimerkiksi väliaikaisilla tuulikaapeilla, jotta vältetään turhilta lämpöhäviöiltä.
- Osastoimalla sisätiloja voidaan vähentää lämpimän ja kostean ilman kulkeutuminen ja tiivistyminen rakennuksen kylmiin pintoihin.
- Olosuhteita valvotaan ja mitataan lämmityksen aikana. Kosteus poistetaan tuulettamalla tai ilmankuivaimilla, jolloin saavutetaan hyvät kuivatusolosuhteet.

[4.]

Rakennuksen lämmittämiseen liittyy olennaisena osana kuivattaminen, jonka tarkoituksena on poistaa kosteutta lämmitettävästä tilasta sekä runko- ja pintarakenteista. Lämmittäminen edesauttaa koko rakennusprojektin etenemistä. Lämmittämisen tavoite on sisävalmistusvaiheen mahdollistaminen. [4.]

Ennen lämmityksen ja kuivatuksen aloittamista kostea sisäilma on jakautunut epätasaisesti ja kylmien rakenteiden pintaan on tiivistynyt kosteutta tai jäätä. Runkovaiheessa sisätiloissa on suuria lämpötilaeroja, koska alhaalla lämmitetään sisätiloja ja ylempänä nostetaan vielä runkoa. Rakennuksen kuivatusteho pitää määritellä ja mitata tapauskohtaisesti. Tällöin huomioidaan mm. rakennuspaikka, rakennusmateriaalit ja niiden kosteus sekä rakennuksen koko. Kosteusmäärän poistamisessa peruseriaatteena on suuren kosteusmäärän poisto mahdollisimman pienellä lisäenergialla. [4.]

Lämmitystehoa mitoittaessa otetaan huomioon rakennuksen maantieteellinen sijainti, sijaitseeko rakennettava rakennus esim. Etelä-Suomessa vai Pohjois-Suomessa. Täytyy ottaa huomioon myös rakennuksen kuutiotilavuus sekä pinta-ala. Jos rakennuksessa on korkeita tiloja, niin mitoittavana perusteena on kuutiotilavuus. Etelä-Suomessa käytetään arvoa 35 W/m^2 huonekorkeuden ollessa normaali 3,2 m. Skanskan Raken-

nuskoneella Nurmijärvellä tämä on koettu sopivaksi ja riittäväksi lämmitystehoksi. [21.]

2.3 Ilman kosteus ja lämmön siirtyminen

Ilman kosteus on vettä, joka on sitoutunut ilmaan ja se voi esiintyä ilmassa höyrynä. Nestemäisessä olomuodossa vesi esiintyy sumuna ja kiinteässä olomuodossa jääkiteinä. Yleensä ilmankosteudella tarkoitetaan ilmassa olevaa vesihöyryä. Rakentamisessa ilmankosteus kiinnostaa koska halutaan rakenteiden kuivuvan nopeasti. Jos sisäilma on hyvin kosteaa, hidastaa se rakenteiden kuivumista tai pysäyttää kuivumisen kokonaan. Liian kuiva ilma kuivattaa hyvin rakenteita, mutta voi aiheuttaa ihmisille hengitysoireita. [5.]

Ilmaan mahtuvan vedenmäärä on riippuvainen lämpötilasta, mitä kylmempää ilma on, sitä vähemmän siihen mahtuu vettä g/m^3 . Esimerkiksi $-5\text{ }^\circ\text{C}$:ssa ilmaan mahtuu $3,33\text{ g/m}^3$ vettä ilmankosteuden ollessa 100 %, kun taas $+25\text{ }^\circ\text{C}$:ssa ilmaan mahtuu 23 g/m^3 vettä vastaavassa ilmankosteudessa. Talvella suhteellinen kosteus voi olla lähellä sataa prosenttia, mutta ilma on silti kuivaa, koska siihen ei mahdu sitoutumaan paljoa vettä.

Lämmityskaudella ilman kosteus pysyttelee alhaalla, eikä sen takia tarvita erillisiä ilmankuivaimia. Kun rakennukseen johdetaan ulkoa kylmää ilmaa, sen vesipitoisuus on pieni. Kun ulkoa tulevaa ilmaa lämmitetään, sen maksimi kosteuspitoisuus kasvaa ja näin ollen sisään johdetun ilman suhteellinen kosteus pienenee.

Lämpö on atomien tai molekyylien värähtelyliikettä. Lämmön siirtymiselle rakenteissa on kolme eri tapaa. Lämpö voi siirtyä johtumalla, säteilemällä tai konvektion avulla. [16.] Alla olevissa luvuissa käydään läpi lämpimän ilman siirtymismuotoja ja miten ne liittyvät rakennusaikaiseen lämmitykseen.

Johtuminen on molekyylien liike-energian siirtymistä molekyylistä toiseen, toisin sanoen tapahtuu lämmön virtaamista. Lämpö pyrkii tasoittumaan väliaineessa, eli virtaamaan lämpimästä kylmempää kohti. Lämmön johtumista esiintyy kiinteissä aineissa sekä nesteissä. [16.]

Rakennusaikana lämmöneristeet voivat olla vielä asentamatta, jolloin esimerkiksi betonielementti tai teräspilari, jonka toinen puoli on ulkona kylmässä ja toinen lämpimässä, johtaa lämpöä siten, että lämmin ilma pyrkii tasapainoon ulkoilman kanssa. Joten syntyy lämmönhukkaa näiden eristämättömien rakenteiden kautta.

Säteilystä voidaan myös käyttää myös nimitystä emissio. Tässä energia siirtyy valonnopeudella aaltoliikkeen välityksellä. Kaikki kappaleet, joiden lämpötila on yli absoluuttisen nollapisteen, lähettävät säteilyä. Absoluuttisella nollapisteellä tarkoitetaan $-273,15^{\circ}\text{C}$:n lämpötilaa. Rakennustekniikassa säteilylämpöä tulee auringon valosta. Auringon valo säteilee lyhytaaltoista sekä pitkäaaltoista säteilyä. Esimerkiksi ikkuna läpäisee hyvin auringon lähettämän lyhytaaltoisen säteilyn, kun taas sisältä ulos pyrkivän pitkäaaltoisen säteilyn se läpäisee huonosti. [16.]

Säteilyyn on rakentamisen aikana kiinnitettävä eniten huomiota. Säteilyyn vaikuttaa rakenteen eristävyys: mitä huonommin rakenne eristää lämpöä, sitä suurempaa on lämpösäteily kylmempään. Esimerkiksi, jos ikkuna-aukko on suojattu peitteellä, se säteilee lämpöä ulos huomattavasti enemmän kuin, jos se olisi eristetty EPS:llä.

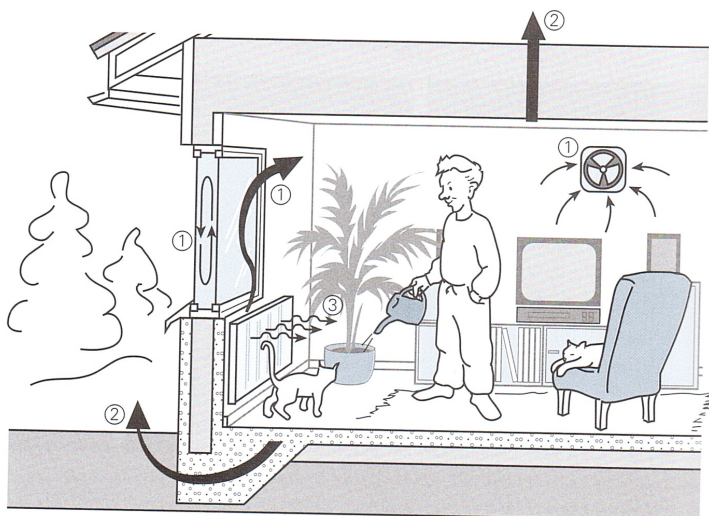
Lämmön siirtymistä virtaamalla kutsutaan myös konvektioksi. Konvektiossa lämpö siirtyy nesteen tai kaasun virtauksen mukana. Konvektio voi olla luonnollista tai pakotettua. Pakotetulla konvektiolla tarkoitetaan kaasun tai nesteen liikkumista ulkoisen voiman avulla esimerkiksi koneellisen ilmanvaihdon tai ihmisten liikkumisen avulla.

Luonnollisen konvektion saa aikaan lämpötilaerojen aiheuttama tiheysero. Lämmin, harva ilma kohoaa ylöspäin. Noustessaan ilma jäähtyy ja sen tiheys kasvaa, joten se laskee takaisin alas. [16.]

Rakennusaikana kerrokset eivät ole vielä tiiviitä eikä lopullista ilmanvaihtoa ole kytketty, joten lämmin alemmissa kerroksissa lämmitetty ilma siirtyy ylempiin kerroksiin. Rakennusaikana kannattaakin käyttää puhaltimia, jolla pakotetaan lämmin ilma ylemmistä kerroksista alempiin.

Alempana havainne kuva eri lämmönsiirtymistavoista. Kuvassa on numeroilla esitetty konvektio (1.), johtuminen (2.), säteily (3.).

Kuva 15.4
Lämmönsiirtymistavat:
1) konvektio,
2) johtuminen ja
3) säteily. Kuvaan
ei ole merkitty
kaikkia tilantees-
sa esiintyviä
lämpövirtoja.



Kuva 2. Lämmön siirtymistavat. [5. s. 452.]

Savupiippuilmioiksi kutsutaan ulko- ja sisäilman lämpötilaeron aiheuttamaa paine-eroa. Paine-ero syntyy kevyen, lämpimän ilman noustessa ylös. Talvella, kun rakennuksen sisä- ja ulkolämpötilan erot ovat suuria, korostuu paine-eron vaikutus. Rakennuksen alaosiin kohdistuu alipaine ja yläosiin ylipaine verrattuna ulkoilmaan. Savupiippuilmion vaikutusta lisää rakennuksen korkeus. [17.]

Savupiippu ilmiö tulee esille rakennusvaiheessa, jos kuilut ovat avoinna alhaalta ylimpään kerrokseen, syntyy paine-ero, joka aiheuttaa lämpimän ilman siirtymisen ylimpiin kerroksiin. Rakentamisvaiheessa kuilujen aukot kannattaa suojata, jotta estetään lämmön karkaaminen alemmista kerroksista ylempiin.

2.4 Ilmalämmitys

Lämmityslaitteiden tarkoitus on tuottaa lämpöä. Lämpöä voidaan siirtää eritavoin. Yleisesti rakennustyömailla tiloja lämmitetään ilmalämmityksellä, kun taas esimerkiksi betonivaluissa voidaan käyttää säteilylämmitystä.

Yleisin rakennusaikaisen lämmityksen lämmitystavoista on ilmalämmitys. Kun lämmitetään yhtä huonetilaa tai laajempia alueita, käytetään yleensä ilmalämmitystä. Lämmitet-

täessä isoa tilaa, voidaan käyttää hyväksi hormoneja, joilla ilma jaetaan eri tiloihin. Ilmalämmitystä voidaan käyttää myös osana ilmanvaihtoa.

Kiertoilmalämmityksessä ilmaa lämmitetään ja kierrätetään tilassa. Ilmalämmityksen tarkoitus ei ole poistaa kosteutta, mutta lämmitettäessä ilmaa sen suhteellinen kosteus pienenee ja näin ollen se edistää rakenteiden kuivumista entisestään.

Ilmalämmityksessä, jossa korvausilma otetaan ulkoa ja lämmitetään ja puhalletaan lämmitettävään tilaan, saadaan poistettua eniten kosteutta. Huonona puolena tässä on lämmitystehon riippuvuus ulkoilman lämpötilasta. Ilmalämmityksen lämmönlähteenä käytetään pääasiassa öljyä, sähköä tai nestekaasua.

[4.]

Skanska Rakennuskoneen Nurmijärven lämmitysvastaavan haastattelulla haluttiin tietoa kuinka lämmittimien tehot mitoitetaan, kun lämmin ilma siirtyy rakennuksessa ylöspäin ja kuinka ilma saadaan kiertämään rakennuksessa, ettei se pakkaudu rakennuksen yläosiin.

Lämpimän ilman noustessa ylöspäin tehon tarve ylemmissä kerroksissa on huomattavasti pienempi kuin alhaalla. Peruseriaatteena on, että sisääntulokerrokseen, jossa on paljon kulkua, sijoitetaan tehokkaammat lämmittimet. Lämmitystehoa tiputetaan ylöspäin mentäessä.

Ilman kierrolla on suuri merkitys lämmityksen kanssa, jotta ylös nouseva lämmin ilma saadaan pakotettua takaisin alempiin kerroksiin. Tässä voidaan käyttää esimerkiksi aksiaalipuhaltimia tai ilmanpuhdistimia. Puhallin voidaan sijoittaa hissikuiluun, jolla ilma tuodaan kanavaa pitkin alimpaan kerrokseen. Ilmanpuhdistimella pystytään lisäksi parantamaan sisäilmanlaatua. Ilmanpuhdistin pystyy kierrättämään ilmaa jopa 4000 m³ tunnissa. Samalla ilmanpuhdistin suodattaa 100 % rakennuspölystä. [21.]

3 Lämmityskaluston valinta

3.1 Lämmitysjärjestelmät ja niiden valinta

Rakennustyömaan lämmitysmuodon valinta perustuu aikaisemmilta työmailta saatuihin kokemuksiin, laskelmiin ja erilaisiin vertailuihin. Lämmitysmuodon valinnalle asetetaan erilaisia kriteereitä. Lämmitysmuodon valintaan vaikuttaa kuinka hyvin kyseessä oleva lämmitys soveltuu kyseessä olevalle työmaalle sekä aikaisemmat kokemukset lämmitysmenetelmistä. Käyttö- ja huoltokustannukset sekä kalustovuokrat vaikuttavat suuresti valintaan. Halutaan varmatoiminen ratkaisu, jonka kalustovuokrat eivät ole merkittävän suuret. Lämmityksen täytyy olla luotettava ja tehokas vaihtuvissa olosuhteissa. Käytettävyyden ja huoltojärjestelyn tulisi olla toimivia.

Kuten aiemmin jo mainittiin, rakennuksen oma lämmitysjärjestelmä kannattaa ottaa mahdollisimman aikaisessa vaiheessa käyttöön, jotta saadaan tasainen lämmitys, eivätkä ylimääräiset letkut ja laitteet häiritse työskentelyä. Rakennusaikaisessa lämmittämisessä käytetään yleensä seuraavia lämmitysjärjestelmiä.

- kaukolämpö
- öljylämmitys
- sähkölämmitys
- kaasulämmitys.

Kaikissa näissä lämmitysmuodoissa lämmönjakolaitteet valitaan laskettua lämmitystarvetta suuremmaksi. Yleisesti ottaen rakennustyömaalla käytetään yli 5 kW:n lämmittimiä. Laitteiden on oltava helposti käsiteltäviä. Rakennusaikana tilakohtaisessa lämmityksessä käytetään siirreltäviä ilma- ja säteilylämmittimiä.

[4.]

Skanska Rakennuskoneen Nurmijärven lämmitysvastaavan haastattelulla haettiin tietoa siihen, mitä eri vaihtoehtoja rakennusaikaiselle lämmitykselle on olemassa.

Lämmityskaluston valinta on riippuvainen rakennettavasta kohteesta. Toimitiloissa, joissa on suuria tiloja, käytetään lähes aina vesikiertoista lämmitystä. Vesikiertoisessa lämmityksessä tehdään ensin pystynousut, joista linjat haaroitetaan vaakavedoin ja kytketään puhaltimiin. Energiamuoto valitaan projektikohtaisesti: kaasulämmitys, kaukolämpö tai öljylämmitys.

Kaasulämmittimissä on eri vaihtoehtoja. Voidaan käyttää maakaasua, biokaasua tai nestekaasua. Gasum toimittaa maakaasukontteja, joissa kaasu säilötään. Kontteja ei pysty täyttämään työmaalla, vaan kontit joudutaan vaihtamaan täysiin. Kaasulämmityskontin perustamiskustannukset ja vuokrahinta ovat hieman kalliimmat kuin polttoöljykäyttöisen lämpökeskuskontin. Kaasussa on parempi hyötysuhde verrattuna polttoöljyyn. Jos toimitaan maakaasun saatavuusalueella, jossa on tarjolla maakaasuliittymä, voidaan kaasu ottaa suoraan verkosta. Näin vältetään kaasun varastoinnilta ja kaasusäiliöiden vaihdoilta.

Kaukolämpöä käytetään lähes aina, jos se on lopullisena lämmitysmuotona. Nykyään käytetään yhä enemmän väliaikaisia lämpökeskuksia, koska lopulliset lämpökeskukset ovat yleensä alimitoitettuja. Lopullista lämpökeskusta käytettäessä tilaaja yleensä vaatii, että niihin tehdään vastavirtahuuhtelu, jolla lämmitysverkko saadaan puhdistettua ennen rakennuksen luovutusta asiakkaalle. [21.]

3.2 Sähkölämmittimet ja vesikiertoiset lämmitimet

Vesikiertoisissa lämmittimissä vesi kiertää lämmittimen kennon läpi, josta puhallin puhalttaa lämmön lämmitettävään tilaan. Lämmittimen puhallin toimii sähköllä, joten se vaatii virtaa toimiakseen. Kiertovesilämmittimet soveltuvat uudisrakennuskohteisiin sekä saneeraus- ja korjauskohteisiin. Vesikiertoiset lämmitimet vaativat toimiakseen vesikiertojärjestelmän. Lämmittimet voidaan kytkeä kaukolämpöverkkoon tai kiinteistön omaan vesikiertojärjestelmään. Jos rakennuksessa ei ole kaukolämpöä tai omaa vesikiertojärjestelmää, voidaan rakentamisen ajaksi pystyttää erillinen öljykäyttöinen tai kaasukäyttöinen lämpökeskuskontti ja rakentaa väliaikaiset vesikiertolinjastot. [14.]

Alempana kuva kiertovesilämmittimestä, jossa puhallus tapahtuu laitteen yläosasta, eikä näin ollen lisää mahdollisen pölyn leviämistä. [14.]

Lämmittimen lämmitysteho on 30 kW, ilmavirta 2100/2600 m³/h ja lämpötilan nousu 44°C [11.]



Kuva 3. Kiertovesilämmitin yläpuhalluksella. [11.]

Sähkölämmitin on helppokäyttöinen, toimintavarma ja suhteellisen edullinen hankintahinnaltaan. Sähkölämmitys voi olla edullinen vaihtoehto pienemmissä kohteissa, joissa lämmittimen käyttö on lyhytaikaista. Sähkölämmittimen asennuksen työmäärä on vähäinen ja energian hinta on kilpailukykyinen muihin vaihtoehtoihin verrattuna. Isommissa kohteissa sähkölämmittimen tehot jäävät liian pieniksi, koska sähköverkon liitäntäteho määrittää lämmityslaitteiden käyttöä. [7.]

Erilaisia sähkölämmittimiä ovat puhaltimet ja säteilijät. Puhaltimia löytyy eri tarpeisiin eri tehoisia. Tehot vaihtelevat 3 kilowatista jopa 40 kilowattiin. Puhaltimista voidaan säätää lämpövastukset pois, jolloin ne voivat toimia pelkästään tuulettimina. Säteilylämmittimissä lämmitys perustuu infrapunalämmitykseen, jossa lämmitys tapahtuu suoraan kohteeseen, eikä ympäröivään ilmaan. [10.]

Alla kuva 9 kW lämpöpuhaltimesta, joka on tarkoitettu jatkuvaan tai tilapäiseen lämmitykseen rakennustyömaille.



Kuva 4. Sähkölämmitin. [11.]

3.3 Öljylämmitys runkovaiheessa

Öljylämmittimet soveltuvat suuriin yhtenäisiin tiloihin, joten ne soveltuvat hyvin suurille rakennustyömaille. Polttoöljylämmittimet soveltuvat hyvin rakennuksen kuivatukseen, koska ne on usein varustettu erillisellä lämmönvaihtimella, joissa öljyn palaminen ei tapahdu lämmitettävässä tilassa. Lämmönvaihtimella vesihöyry ja pakokaasut eivät päädy lämmitettävään tilaan. [7.]

Polttoöljykäyttöisiä lämmittimiä on erikokoisia eri tarpeisiin. Lämmittimiä on siirrettäviä malleja. Siirrettävissä malleissa on sellaisia, joissa on erillinen polttoainetankki, jossa savukaasut johdetaan ulos lämmitettävästä tilasta, tai pienempiä malleja, joissa polttoainetankki on osana lämmitintä ja joista palokaasut vapautuvat lämmitettävään ilmaan. On myös erillisiä lämpökeskuskontteja, jotka toimivat lämmönjakokeskuksina, joista lämpö jaetaan vesikiertoisena rakennukseen pienemmille puhaltimille. Öljykäyttöisissä lämmittimissä on usein puhallin, joka edellyttää sähköä toimiakseen. Sähkön kulutus on näissä kuitenkin varsin pientä verrattuna sähköllä toimivaan lämmittimeen. [10.]

Kevyen polttoöljyn tehollinen lämpöarvo on $9,98 \text{ MWh} / \text{m}^3$. [9.]

Skanska Rakennuskoneen lämmitysvastaavalta kysyttiin kaukolämmön ja lämpökeskuskontin soveltuvuutta runkovaiheessa, jolloin vaipan eristys ei ole vielä järin tiivistä.

Lämpökeskuskontti sekä kaukolämpö soveltuvat käytettäväksi jo runkovaiheessa. Näissä on huomioitava lämmitystehon tarve, runkovaiheessa lämmön hukka on suurempi kuin esimerkiksi sisävalmistusvaiheessa. Jos rakennukseen on tulossa lopulliseksi lämmitysmuodoksi kaukolämpö, voidaan sitä hyödyntää rakennusaikaisessakin lämmityksessä. Kaukolämpöliittymän koko tulee laskea rakennusaikaisen lämmitystarpeen mukaan. Kaukolämpöön voidaan liittää väliaikainen lämmönsiirrin, jolla saadaan riittävästi tehoa rakennusaikaiseen lämmitykseen. Lopullisen lämmönsiirtimen teho ei ole riittävän tehokas rakennusaikana, jolloin rakenteet eivät ole tiiviitä ja eristäviä. [21.]

Siirrettävät öljylämmittimet ovat öljypolttimella varustettuja lämmittimiä, jotka on usein varustettu lämmönvaihtimella, jonka avulla lämpö siirtyy ulospuhallettavaan ilmaan. Siirrettävät lämmittimet ovat suhteellisen pieniä ja helposti siirrettäviä. Lämmittimet on liitettävä savuhormiin, josta savukaasut johdetaan ulos. Siirrettäviä öljylämmittimiä on saatavana 55 kW, 70 kW, 110 kW ja 120 kW. Suurimmassa lämmittimessä voidaan ilmapirta kanavoida ja jakaa eri tilojen kesken. Kaikki lämmittimet on varustettu termostaatilla. Siirrettävät lämmittimet tarvitsevat erillisen polttoainesäiliön. Alla oleva on kuva siirrettävästä öljylämmittimestä, jonka teho on 70 kW, paino 179 kg ja maksimi öljynkulutus on 5,9 kg / h. [11.]



Kuva 5. Öljylämmitin. [11.]

Öljykäyttöiset lämmitysyksiköt ovat suurempiin tiloihin soveltuvia lämmittimiä, ja ne kykenevät lämmittämään jopa 7000 m³ suuruisen tilan. Lämmitysyksiköt soveltuvat hyvin saneerauskohteisiin sekä uudisrakentamiseen. Ilma siirtyy keskipakopuhaltimen avulla kanavia pitkin eri tiloihin. Lämmitysyksiköitä voidaan siirtää trukin avulla. Niissä

on erillinen polttoainesäiliö. Alla oleva lämmitysyksikkö on 195 kW ja sen maksimi öljynkulutus on 18 kg / h ja ilmamäärä on 13350 m³ / h. [11.]



Kuva 6. Öljykäyttöinen lämmitysyksikkö. Skanska konevuokrauksen nettisivut

Aksiaalipuhaltimia voidaan käyttää osana rakennusaikaista lämmitystä. Puhallin ei tuota lämpöä, mutta soveltuu ilman siirtämiseen sekä lämmön tasaamiseen. Puhaltimissa ilmatehon määrä vaihtelee puhaltimen koon mukaan. Esimerkiksi alla oleva aksiaalipuhallin pystyy siirtämään 3700 (m³/h). [20.]



Kuva 7. Aksiaalipuhallin AL 3700. [20.]

Aksiaalipuhaltimiin voidaan liittää ilmanohjainletku, jolloin puhallinta voidaan käyttää esimerkiksi lämpimän ilman siirtoon ylemmistä kerroksista alempiin kerroksiin. Puhalti-

met ovat kevyitä ja helposti liikuteltavia. Kuvan (6.) puhaltimen paino on 12 kg ja teho on 500 W. Aksiaalipuhaltimet ovat vuokraus- ja hankintahinnaltaan melko edullisia. [20.]

3.4 Nestekaasulämmitys

Nestekaasulämmittimet ovat tehokkaita ja tuottavat nopeasti lämpöä, joten ne soveltuvat suuriin tiloihin, jotka vaativat suuren lämmitystehon. Nestekaasun palamisreaktiossa muodostuu vesihöyryä ja hiilidioksidia. Palamisreaktio kuluttaa paljon happea. Yhden nestekaasukilon palamiseen tarvitaan noin 12 m³ happea, ja siitä syntyy 15 tilavuusprosenttia vesihöyryä. Nestekaasulla lämmitettäessä onkin erityisen tärkeää huolehtia hyvästä ilmanvaihdosta, jotta palamiseen on riittävästi happea ja vesihöyry pääsee poistumaan rakennuksesta eikä jää hidastamaan rakenteiden kuivumista. Nestekaasulla lämmitettäessä ilman tulisi vaihtua 2-5 kertaa tunnin aikana, jotta lämmittämisestä syntyvä kosteus ei kyllästyisi rakenteiden pintaan. Nestekaasu palaa puhtaasti, eikä siitä muodostu terveydelle haitallisia palokaasuja. [10.]

Nestekaasu on lämmitysmuotona suhteellisen tehokas. Kilo nestekaasua tuottaa 12,8 kWh energiaa, kun taas kevyt polttoöljy tuottaa vastaavasti 11,8 kWh. [11.]

Nestekaasulämmittimiä on saatavana useita erilaisia. On suorapolttolämmittimiä, joita on saatavana 10 kW – 100 kW tehoisina. Suorapolttolämmittimissä palokaasut käytetään tilan lämmitykseen. Näissä lämpöhäviö on 10 - 30 % polttoöljylämmittintä pienempi, koska palava kaasu johdetaan lämmitettävään tilaan. Lisäksi on saatavana lämmittimiä, joissa on lämmönvaihdin ja palokaasut johdetaan pois lämmitettävästä tilasta. Tällöin tilaan ei kerry lämmityksestä syntyvää kosteutta, eikä ilmanvaihdolle aseteta niin suuria vaatimuksia. Nestekaasulämmittimiä on myös saatavana infrapunalämmittiminä, jolloin lämpö johdetaan säteilemällä työskentelytilaan lämmitämättä ympäröivää ilmaa. Nestekaasulämmittimissä on termostaattiohjaus. Näin vältetään turhalta lämmittämiseltä ja saavutetaan parempi polttoainetehokkuus. [11.]



Kuva 8. Nestekaasulämmitin. [11.]

Nestekaasulämmittimet ovat tehoon nähden kevyitä. Kuvassa oleva lämmitin on tehollaan 55 kW ja se painaa 20 kg. Vastaavan tehoinen öljylämmitin painaa 160 kg. [10.]

Nestekaasulämmittimille voidaan jakaa kaasu erikokoisista pulloista tarpeen mukaan. Käytettävissä on 184 kg painava maksipullo tai vaihtoehtoisesti pienempiä 33 kg pulloja voidaan kytkeä 9 kappaletta rinnan, jolloin saadaan kaasua 297 kg. [12.]

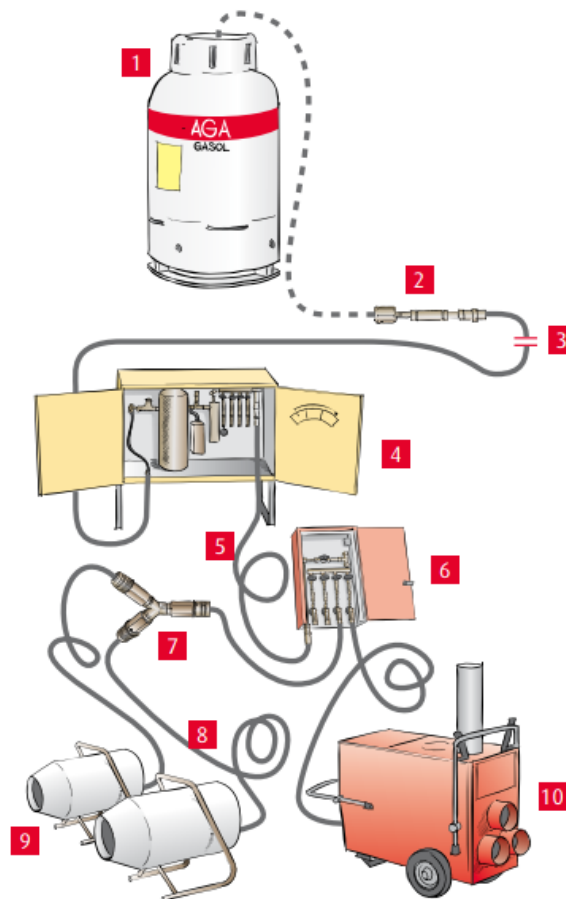
Jos rakennustyömaalla varastoidaan 200-5000 kg nestekaasua, on siitä ilmoitettava paloviranomaisille. Jos määrä on suurempi, on siitä haettava erillistä lupaa Turvatekniikan keskukselta (TUKES).

Nimensä mukaisesti nestekaasupulloissa kaasu on nestemäisessä muodossa, joten neste on höyrytettävä ennen järjestelmään syöttämistä. Nesteen höyrystymisnopeus on riippuvainen ympäröivän ilman lämpötilasta, käyttöpaineesta, pullon koosta sekä jäljellä olevasta kaasumäärästä. Jos lämpötila on nollan alapuolella ja pullo lähes tyhjä, höyrystyminen heikkenee. Järjestelmään voidaan tällöin syöttää kaasua noin 6 kg/h (77 kW), ja jos käytössä on suurempi maksipullo, on höyrystymisen teho vielä puolet pienempi. Täysillä pulloilla lämpimissä olosuhteissa höyrystymisnopeus on huomattavasti suurempi. [12.]

Nestekaasun höyrystymisnopeutta ja hyötysuhdetta voidaan suurentaa nestekaasuhöyrystimellä. Nestekaasuhöyrystin kytketään sähköverkkoon, jolloin siihen ei vaikuta ulkolämpötila, pullon koko tai jäljellä oleva nestekaasun määrä. [12.]

Alempana kuva 9. nestekaasujärjestelmästä, jossa käytetään erillistä höyrystintä. Kuvassa esitetään tarvittavat laitteet nestekaasun jakojärjestelmään: kuvassa 4 on sähköinen höyrystin, kuvassa 6 on jakokeskus, jolla kaasu jaetaan eri lämmittimille. [12.]

Nestekaasun käyttäminen nestemäisessä muodossa



Kuva 9. Nestekaasulämmitysjärjestelmä [12.]

3.5 Rakennusaikainen kaukolämpö

Kaukolämpöä voidaan käyttää rakennusaikaisessa lämmityksessä siinä missä muitakin vaihtoehtoja. Edellytyksenä on, että rakennettava rakennus on kaukolämpöverkon ulottuvissa. Lämmityksessä käytetään vesikiertoisia puhaltimia, esimerkiksi aikaisemmin esitelty kiertovesipuhallin. [15.]

Kaukolämpö tarvitsee lämmönjakokeskuksen, johon asennetaan lämmityksen ja käyttöveden lämmönsiirtimet, säätölaitteet, pumput, paisunta- ja varolaitteet sekä sulkuventtiilit. [16.] Jos rakennuksen omaa lämmönjakokeskusta ei saada toimintakuntoon ennen rakennusaikaisen lämmityksen alkua, voidaan kaukolämpö liittää väliaikaiseen lämmönsiirtimeen. Alempana kuva väliaikaisesta lämmönsiirtimestä. Lämmönsiirtimien tehot ovat 200 kW - 800 kW, Kuvan lämmönsiirrin on 800 kW:n malli.



Kuva 10. Lämmönsiirrin kaukolämpöverkkoon [11.]

Niin kuin nimikin jo kertoo, lämmityslaitteiden tarkoitus on tuottaa lämpöä. Lämpöä voidaan siirtää eritavoin, riippuen mitä varten lämmitetään. Yleisesti rakennustyömailla tiloja lämmitetään ilmalämmityksellä, kun taas esimerkiksi betonivaluissa voidaan käyttää säteilylämmitystä. Yleisin rakennusaikaisen lämmityksen lämmitystavoista on ilmalämmitys. Kun lämmitetään yhtä huonetilaa tai laajempia alueita, yleensä käytetään ilmalämmitystä. Lämmitettäessä isompaa tilaa, voidaan käyttää hyväksi hormistoja. Ilmalämmitystä voidaan käyttää myös osana ilmanvaihtoa. [4.]

Kiertoilmalämmityksessä ilmaa lämmitetään ja kierrätetään tilassa. Ilmalämmityksen tarkoitus ei ole poistaa kosteutta, mutta lämmitettäessä ilmaa sen suhteellinen kosteus pienenee ja näin ollen se edistää rakenteiden kuivumista entisestään.

Ilmalämmityksessä, jossa ilma imetään suoraan ulkoa, lämmitetään ja puhalletaan lämmitettävään tilaan, poistetaan eniten kosteutta. Huonona puolena tässä on lämmitystehon riippuvuus ulkoilman lämpötilasta. Ilmalämmityksen lämmönlähteenä käytetään pääasiassa öljyä, sähköä tai nestekaasua.

Kappaleisiin tai tilaan suoraan kohdistuvaan lämmittämiseen soveltuu säteilylämmitys. Säteilylämmitystä voidaan käyttää esimerkiksi betonivaluissa, jossa lämpösäteily etenee suoraviivaisesti. Kohdatessaan betonin pinnan osa lämpösäteilyä läpäisee betonin ja osa heijastuu pois. Ainoastaan heijastuva osa nostaa ympäröivää lämpötilaa.

[4.]

Skanska Rakennuskoneella Vesikiertoisista lämmittimistä kaukolämpö on todettu toimintavarmimmaksi lämmitysmuodoksi, ja tarvitsee myös vähiten huoltotoimenpiteitä. Yleisin huoltokäynnin syy on sähkökatkot. Etälukulaitteet ovat yleistymässä eri lämpökeskusvaihtoehdoissa. Jatkossa pystytään etänä valvomaan ja säätämään veden virtauksia sekä reagoimaan ongelmatilanteisiin varhaisemmassa vaiheessa. [21.]

4 Aukkojen suojaus osana lämmittämistä

Aukkojen suojauksen suunnittelu tulee ottaa huomioon jo tuotannonsuunnitteluvaiheessa. Jos rakennuksen rungon katsotaan olevan sään kestävä eikä huputus ole välttämätöntä, voidaan sitä hyödyntää ja välttyä turhilta suojauksilta ja säästää materiaali- ja kalustokustannuksissa. Veden valuminen rakennuksen alempiin, kuiviin kerroksiin on myös estettävä käyttämällä rakennuksen omaa sadevesijärjestelmää erillisillä roskasuodattimilla tai tehdä väliaikaisia viemäröintejä, joilla sade- ja sulamisvedet johdetaan pois rakennuksesta. Jos toteutustapa antaa myöten, ikkunat voidaan asentaa jo elementtitehtaalla. Tällä tavalla saadaan vaippa umpeen samalla kun runkoa nostetaan. Samalla vähenee nostokaluston tarve, koska ikkuna-asennuksiin tarvittavia nostoja ei tarvita. [13.]

Usein toimistorakennuksissa on suuria ikkunoita, joita ei ole mahdollista asentaa elementtitehtaalla, vaan ikkunat on asennettava elementtiasennuksen jälkeen. Tällaisissa tapauksissa elementtiasennus ja ikkuna-asennus kannattaa tahdistaa mahdollisimman lähekkäin niin, että ikkunoita päästäisiin asentamaan heti, kun niiden elementit ovat asennettu.

Rakennusaikaisen lämmittämisen olennainen osa on aukkojen suojaus. Ulko-ovien, ikkunoiden, kuilujen sekä rakennuksen vaipassa olevien aukkojen tiivistäminen on erittäin tärkeä osa lämmittämistä. Kuilujen tiivistys kannattaa hoitaa huolella. Kuilu toimii hormin tavoin ja aiheuttaa savupiippuilmion, jolloin paine ero imee lämmintä ilmaa ylöspäin. Rakennusaikaisen lämmityksen yksi mitoitusperuste on aukkojen tiiviys ja eristävyys. Ennen aukkojen ummistusta ja tiivistystä ei ole järkevää aloittaa rakennuksen lämmitystä. Ilmavuodot vaikuttavat olennaisesti lämmityskustannuksiin. Mitä paremmin aukot on suojattu ja tiivistetty, sitä vähemmän kuluu rahaa rakennuksen lämmitykseen.

Lämmitettävä tila on tiivistettävä huolellisesti, mutta huolehdittava kuitenkin riittävästä ilmanvaihdosta. Lämmitettävä tila voidaan rajata lämmitystarpeen mukaan. Tila voidaan rajata kiinteillä rakenteilla tai suojapeitteillä. Pressuilla tehtävässä suojauksessa

lämmöneristystä voidaan parantaa käyttämällä kaksinkertaisia peitteitä, joissa ilmarako jää kahden peitteen väliin. [6.]

Skanska Rakennuskoneen lämmitysvastaavalta kysyttiin, ovatko he ovat ottaneet huomioon rakennusaikaisen suojauksen ja onko heillä tarjota palveluja tai ratkaisuja, jotka osaltaan helpottaisi tai nopeuttaisi tuotantoa. Skanska Rakennuskoneella on ollut suunnitteilla tarjota valmiita lämpöeristettyjä ovia, jotka olisivat moduulimittaisia ja helposti asennettavia. Osastointeihin käytetään usein layher-telineosia, joilla saadaan tehtyä 10 cm syvyisiä seiniä. Osastoivat seinät voidaan peittää pressuilla molemmilta puolilta, jolloin saadaan parempi eristävyys ja pienempi lämpöhäviö. [21.]

4.1 Suojausmateriaalien U-arvot

U-arvolla eli lämmönläpäisykertoimella ilmaistaan rakennusosan läpi kulkeutuvaa lämpövirran tiheyttä. Tässä kappaleessa lasketaan U-arvoja eri materiaaleille, joita yleisesti käytetään rakennuksen aukkojen suojaukseen.

Alla lämmönjohtavuuksia eri suojausmateriaaleille, joita yleisesti käytetään aukkojen suojaamisessa. Lämmönjohtavuuden yksikkö on λ_n (W / (m · K)). Mitä pienempi arvo, sitä suurempi eristävyys.

- | | |
|----------------------------------|-------|
| • Havuvaneri | 0,13 |
| • polyeteeni HD (telinepeite) | 0,4 |
| • paisutettu polystyreeni, (EPS) | 0,041 |

[2. s.12.]

Ennen U-arvon laskentaa pitää laskea ainekerroksen lämmönvastus, johon tarvitaan, alempana esitetty kaava (1). Tämän jälkeen määritetään U-arvo, joka on lämmönvastuksen käänteisluku, tämä saadaan kaavasta (2). Jonka jälkeen lasketaan rakennusosan kokonaislämmönvastus, jossa otetaan huomioon pintavastusarvot (taulukko 1). Jos rakenteen välissä on ilmarako, tarvitaan lisäksi ilmarakojen lämmönvastuksia, jotka saadaan taulukosta (2).

Alempana on yksittäisen ainekerroksen lämmönvastuksen laskukaava. Kaava 1.

$$\text{Suhdetta } d/\lambda \text{ kutsutaan ainekerroksen lämmönvastukseksi } m \\ m = d : \lambda \text{ (m}^2 \cdot \text{°C/W)} \quad (2)$$

[2. s.11.]

Yksittäisen rakenteen U-arvo saadaan laskettua alla olevasta kaavasta (2).

$$\text{U-arvon yleiskaava on} \\ U = 1 : M \text{ (W/m}^2 \cdot \text{°C)} \quad (4) \\ M = \text{rakennusosan kokonaislämmönvastus sisäilmasta ulkoilmaan} \\ \text{(m}^2 \cdot \text{°C/W)}$$

[2. s.13.]

Rakennusosan kokonaislämmönvastuksen laskemiseen pitää ottaa huomioon sisä- ja ulkopinnan pintavastukset ja jokainen rakenneosa lasketaan erikseen ja lisätään yhteen. Alempana on laskukaava (3) rakennusosan kokonaislämmönvastuksen laskentaan.

Rakennusosan kokonaislämmönvastus, kaava 3.

$$\text{Rakennusosan kokonaislämmönvastus M on} \\ M = m_s + m_u + m \text{ (m}^2 \cdot \text{°C/W)} \quad (5) \\ m_s = \text{sisäpuolinen pintavastus (m}^2 \cdot \text{°C/W)} \\ m_u = \text{ulkopuolinen pintavastus (m}^2 \cdot \text{°C/W)} \\ m = \text{rakennusosan lämmönvastus sisäpinnasta ulkopintaan} \\ \text{(m}^2 \cdot \text{°C/W)}^1)$$

[2. s.13.]

Taulukko 1. Rakenteiden pintavastuksia

Sisäpuolinen pintavastus m_s Lämpö siirtyy			Ulkopuolinen pintavastus m_u Lämpö siirtyy		
Vaaka-suoraan	Ylös-päin	Alas-päin	Vaaka-suoraan	Ylös-päin	Alas-päin
0,13	0,10	0,17	0,04	0,04	0,04

[2. s.13.]

Jos rakenteessa on tuulettamattomia ilmarakoja, pitää ne ottaa huomioon kokonaislämmönvastuksien laskennassa. Alempana on taulukko (2) ilmarakojen lämmönvastuksista. [2. s.13.]

Taulukko 2. Rakenteiden pintavastuksia

Ilmaraon pinnat	Ilmaraon paksuus mm	Lämmönvastus m_l ($m^2 \cdot ^\circ C/W$) Lämpö siirtyy		
		Vaaka-suoraan	Ylös-päin	Alas-päin
Ei heijastavia pintoja $\epsilon \leq 0,8$	5	0,11	0,11	0,11
	10	0,14	0,13	0,15
	20	0,16	0,14	0,18
	50...100	0,17	0,14	0,21
Toinen pinta heijastava $\epsilon \leq 0,1$	5	0,17	0,17	0,17
	10	0,29	0,23	0,29
Toinen ei heijastava $\epsilon \geq 0,8$	20	0,37	0,25	0,43
	50...100	0,34	0,27	0,61

[2. s.13.]

Esimerkki 1. U-arvo kun ikkuna-aukko on peitetty telinepiteellä.

Telinepiteen lämmönjohtavuus on $\lambda_n = 0,4 \text{ W} / (m \cdot ^\circ C)$

$$m = d: \lambda \text{ (} m^2 \times ^\circ C / W \text{)}$$

$$m_{\text{telinepite}} = 0,0005 \text{ m} : 0,4 \text{ (} W / m \cdot ^\circ C \text{)} = 0,00125 \text{ (} m^2 ^\circ C / W \text{)}$$

$$m_s = 0,13$$

$$m_u = 0,04$$

Kokonaislämmönvastus saadaan kaavasta (3) ja pinnanvastukset taulukosta (1)

$$M = m_s + m + m_u$$

$$M = 0,13 + 0,00125 + 0,04 \quad M = 0,17125 \text{ (m}^2 \times ^\circ\text{C} / \text{W)}$$

U-arvo saadaan kaavasta (2)

$$U = 1 : M \quad U = 1 : 0,17125 \text{ (W / m}^2 \text{ } ^\circ\text{C)}$$

U-arvoksi muovilla suojatulle ikkuna-aukolle saadaan 5,84 W / m² °C

Esimerkki 2. U-arvo, kun suojauksessa käytetään havuvaneria 12mm ja EPS 50mm.

$$\text{Havuvanerin lämmönjohtavuus on} \quad \lambda_n = 0,13 \text{ W/(m } ^\circ\text{C)}$$

$$\text{paisutettu polystyreeni, (EPS) lämmönjohtavuus} \quad \lambda_n = 0,041 \text{ W/(m } ^\circ\text{C)}$$

$$m = d : \lambda \text{ (m}^2 \times ^\circ\text{C} / \text{W)}$$

$$m_{\text{havuvaneri}} = 0,012 : 0,13 \text{ W / (m } ^\circ\text{C)} \quad m_{\text{havuvaneri}} = 0,923 \text{ (m}^2 \times ^\circ\text{C} / \text{W)}$$

$$m_{\text{EPS}} = 0,05 : 0,041 \text{ W / (m } ^\circ\text{C)} \quad m_{\text{EPS}} = 1,22 \text{ (m}^2 \times ^\circ\text{C} / \text{W)}$$

$$\text{Kokonaislämmönvastus } M = m_s + m_{\text{EPS}} + m_{\text{havuvaneri}} + m_u$$

$$M = 0,13 + 1,22 + 0,923 + 0,04 \text{ (m}^2 \times ^\circ\text{C} / \text{W)}$$

$$M = 2,30 \text{ (m}^2 \times ^\circ\text{C} / \text{W)}$$

$$U = 1 : M \quad U = 1 : 2,30 \text{ (m}^2 \text{ } ^\circ\text{C} / \text{W)}$$

Vanerilla ja EPS:llä eristetyn ikkuna-aukon U-arvoksi saadaan, U = 0,432 (W / m² °C)

Vertailun vuoksi, Suomen rakentamismääräyskokoelman osassa C3 on Ympäristöministeriön asetukset rakennuksen lämmöneristysvaatimuksista. Ikkunalle asetettu U-arvo vaatimus on $1,0 \text{ W / m}^2 \text{ }^{\circ}\text{C}$ [18.]

Esimerkki 3. tuplapeitteen käyttö suojauksessa

Suojauksessa käytetään usein tuplapeitteitä, jolloin peite laitetaan kaksin kerroin ja väliin jää pieni ilmarako, ilmarako lisää lämmöneristävyyttä. Seuraavassa on laskettu suojauksen U-arvo, kun käytetään tuplapeitettä, jossa on 10mm ilmarako välissä.

$$m_{\text{telinepeite}} = 0,0005 \text{ m} : 0,4 \text{ (W / m} \cdot \text{ }^{\circ}\text{C)} = 0,00125 \text{ (m}^2 \text{ }^{\circ}\text{C / W)}$$

Ilmaraon lämmönvastus saadaan taulukosta (2.)

$$m_{\text{ilmarako}} = 0,14 \text{ (m}^2 \text{ }^{\circ}\text{C / W)}$$

$$m_s = 0,13 \qquad m_u = 0,04$$

$$\text{Kokonaislämmönvastus } M = m_s + m_{\text{telinepeite}} + m_{\text{ilmarako}} + m_{\text{telinepeite}} + m_u$$

$$M = 0,13 + 0,00125 + 0,14 + 0,00125 + 0,04 \text{ (m}^2 \text{ }^{\circ}\text{C / W)}$$

$$M = 0,31 \text{ (m}^2 \text{ }^{\circ}\text{C / W)}$$

$$U = 1 : M \qquad U = 1 : 0,31 \text{ (m}^2 \text{ }^{\circ}\text{C / W)}$$

U-arvoksi tuplapeitteellä jossa on 10 mm ilmarako välissä saadaan 3,2 (W / m² °C)

4.2 Johtumisteho eri aukonsuojaus tavoilla

Usein rakennustyömailla ei anneta arvoa aukkojen suojaukselle lämmityksen valmistelussa, vaan aukot suojataan mahdollisimman nopeasti peitteillä, jotta päästään aloittamaan lämmitys. Seuraavissa laskutoimituksissa on laskettu johtumisteho (W), ja kuinka paljon eri suojausmenetelmistä tulee lämpöhäviötä johtumalla 30 vuorokauden aikana (kWh). Laskennassa käytetään Ilmatieteenlaitoksen Helsinki-Vantaan mittauspisteen helmikuun keskilämpötilojen keskiarvoja vuosilta 2017 ja 2018. Suojattavan aukon pinta-ala on 5 m² ja sisälämpötila on 15 astetta (°C).

Helmikuun keskilämpötilat Helsinki-Vantaalla mitattuna vuosina:

2017 -3,3 (°C)

2018 -8,4 (°C)

[19.]

Helmikuun keskilämpötilan keskiarvoksi aikavälillä 2017–2018 saadaan -5,9 °C Johtumistehon laskentaan tarvitaan rakennusosan lämmönläpäisykerroin, eli U-arvo ($\text{m}^2 \text{ } ^\circ\text{C} / \text{W}$) jotka on laskettu edellisissä laskutoimituksissa, sekä rakennusosan pinta-ala (m^2) sisä- ja ulkolämpötilat (°C). Johtumistehon kaava saadaan alla olevasta kaavasta (4).

Johtumistehon laskentakaava (4.)

Johtumisteho rakenteiden läpi ulkoilmaan ja viereisiin, erillämpöisiin tiloihin saadaan kaavalla 6

$$q_{jo} = \sum (U \cdot A \cdot (t_s - t_u)) \quad (\text{W}) \quad (6)$$

U = kunkin rakennusosan lämmönläpäisykerroin ($\text{W}/\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$)
 A = kunkin rakennusosan pinta-ala (m^2)
 t_s = lämpötila rakennusosan lämpimämmällä puolella (°C)
 t_u = lämpötila rakennusosan kylmemmällä puolella (°C)

[2.

Esimerkki 4. Johtumisteho, kun aukko on suojattu yksinkertaisella telinepeitteellä

$$U, \text{ telinepeite} = 5,84 \text{ W} / \text{m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$A = 5 \text{ (m}^2\text{)}$$

$$t, \text{ sisä} = 15 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$t, \text{ ulko} = -5,9 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$q_{jo} = (U \times A \times (t_s - t_u)) \text{ (W)}$$

$$q_{jo} = 5,84 \text{ W} / \text{m}^2 \text{ } ^\circ\text{C} \times 5 \text{ (m}^2\text{)} \times (15 \text{ } ^\circ\text{C} - (-5,9 \text{ } ^\circ\text{C}))$$

$$q_{jo} = 610,3 \text{ W}$$

Lämpöhäviö 30 vuorokauden aikana, jos olosuhteet pysyvät vakioina.

$$\Phi = (q_{jo} : 1000) \times \text{vrk} \times 24h$$

$$\Phi = (610,3 \text{ w} : 1000) \times 30 \times 24 \text{ h}$$

$$\Phi = 439,4 \text{ kWh}$$

Esimerkki 5. Johtumisteho kun aukko on suojattu vanerilla ja styroxilla.

$$U, \text{ vaneri / styrox} = 0,432 \text{ (W / m}^2 \text{ } ^\circ\text{C)}$$

$$q_{jo} = (U \times A \times (t_s - t_u)) \text{ (W)}$$

$$q_{jo} = 0,432 \text{ W / m}^2 \text{ } ^\circ\text{C} \times 5 \text{ (m}^2\text{)} \times (15 \text{ } ^\circ\text{C} - (-5,9 \text{ } ^\circ\text{C}))$$

$$\underline{q_{jo} = 45,1 \text{ W}}$$

Lämpöhäviö 30 vuorokauden aikana, jos olosuhteet pysyvät vakioina.

$$\Phi = (q_{jo} : 1000) \times \text{vrk} \times 24h$$

$$\Phi = (45,1 \text{ W} : 1000) \times 30 \times 24 \text{ h}$$

$$\Phi = 32,5 \text{ kWh}$$

Esimerkki 6. Johtumisteho kun aukko on suojattu tuplapeitteellä, jossa on välissä ilmara-
rako.

$$U, \text{ tuplapeite} = 3,2 \text{ (W / m}^2 \text{ } ^\circ\text{C)}$$

$$q_{jo} = (U \times A \times (t_s - t_u)) \text{ (W)}$$

$$q_{jo} = 3,2 \text{ W / m}^2 \text{ } ^\circ\text{C} \times 5 \text{ (m}^2\text{)} \times (15 \text{ } ^\circ\text{C} - (-5,9 \text{ } ^\circ\text{C}))$$

$$\underline{q_{jo} = 334,4 \text{ W}}$$

Lämpöhäviö 30 vuorokauden aikana, jos olosuhteet pysyvät vakioina.

$$\Phi = (q_{jo} : 1000) \times \text{vrk} \times 24h$$

$$\Phi = (334,4 \text{ W} : 1000) \times 30 \times 24 \text{ h}$$

$$\Phi = 240,8 \text{ kWh}$$

Laskuista voidaan todeta, että lämpöhäviöiden suuruuteen voidaan vaikuttaa materiaa-
livalinnoilla, 30 vuorokauden aikana parhaiten- ja huonoiten eristävän materiaalin ero
on 406,9 kWh. Seuraavaksi on esitetty energian hukka rahaksi muutettuna, kun käyte-
tään kevyttä polttoöljyä lämmitysmuotona esimerkki 7.

4.3 Lämpöhäviön kustannukset

Aikaisemmassa esimerkissä 6. laskettiin johtumisteho käytettäessä suojaukseen telinepeitteitä tai vaneria ja styroxia. Tässä esimerkissä 7. lasketut johtumistehot, eli lämpöhäviöt muutetaan rahaksi. Laskuissa käytetään polttoöljyn tehollista lämpöarvoa, kevyen polttoöljyn litrahintaa sekä aikaisempien laskujen johtumistehoja.

Esimerkki 7. Lämpöhäviöiden aiheuttama rahallinen menetys

Kevyen polttoöljyn tehollinen lämpöarvo on 9,98 MWh / m³ [9.]

Litralle tulee tällöin teholliseksi lämpöarvoksi 9,98 kWh / l

Kevyen polttoöljyn litrahinta toimituskuluineen on n. 1 € / l (tammikuu 2018).

5 m² aukko suojattu yksinkertaisella telinepeitteellä 418,3 kWh

439,4 kWh: 9,98 kWh / l x 1 € / l = 44 € / kk

5 m² aukko suojattu EPS:llä sekä vanerilla 31 kWh

32,5 kWh: 9,98 kWh / l x 1 € / l = 3,3 € / kk

5 m² aukko suojattu tuplapeitteellä, jossa 10 mm ilmarako välissä 229,2 kWh

240,8 kWh: 9,98 kWh / l x 1 € / l = 24,1 € / kk

Laskutoimituksista voidaan todeta, että aukkojen suojaukset kannattaa suunnitella huolella ja varata niihin riittävästi resursseja ja aikaa. Tässä asiassa voidaan käyttää sanontaa "pienistä puroista kasvaa suuria jokia". Näin on myös aukkojen suojauksessa. Isoissa toimitila rakennuksissa on usein lasiseiniä sekä suuria määriä ikkunoita. Näistä muodostuu helposti suuria kustannuksia, jos suojauksia ei hoideta huolella.

5 Rakennusaikaisen lämmityksen kustannusjakauma

Rakennusaikaisen lämmityksen kustannukset osiossa (liitteet 1-4) on laskettu Skanska Talonrakennus Oy:n kausisopimushintoihin perustuvat kustannukset eri lämmitysmuodoille. Tässä osiossa kerrotaan tarkemmin kustannusten muodostumisesta.

Kustannukset laskettiin Vantaan Energian tekemän energiankulutusarvion perusteella. Kulutusarviolla pystyttiin laskemaan jokaiselle energiamuodolle energiankulutusarvioon perustuva kulutus. Energian kulutuksen, laitevuokrien, ja asennuskustannusten lähtötietoina käytettiin Aviabulevardi II toimitilahanketta. Aviabulevardi II hankkeen lämmityskausi oli joulukuusta huhtikuun loppuun, eli 5 kuukautta. Alla olevaan pylväsdiagrammiin on eritelty asennuksen ja vuokrien sekä energian kustannusten jakauma. Sinisellä on osoitettu asennuksien sekä laitevuokrien kustannukset, keltaisella energian kustannukset.

Ensimmäisessä pylväässä on esitetty rakennusaikaisen kaukolämmön kustannukset, jotka sisältävät kaukolämmön energian kustannukset, liittymisen kustannukset, johtomaksut, asennus ja purkukustannukset, väliaikaisen lämmönsiirtimen, väliaikaiset vesikiertolinjastot sekä vesikiertopuhaltimet koko lämmityskauden ajalta. Johtomaksu koostuu kaukolämpöliittymän etäisyydestä rakennukseen. Aviabulevardi II tapauksessa linjan pituus liittymältä rakennukseen oli 40 metriä.

Toisessa pylväässä on laskettu maakaasun kustannukset. Maakaasussa on liittymismaksu sekä kaksi maakaasusäiliötä. Maakaasua ei voi täyttää paikan päällä, vaan se joudutaan vaihtamaan täyteen toisen tyhjentyessä. Maakaasu käyttää lämpökeskuskonttia sekä vesikiertoista lämmönjakotapaa lämmityksessä. Kustannuksiin on laskettu näiden asennus- ja kalustovuokrien kustannukset.

Kolmannessa pylväässä on esitetty biokaasun kustannukset. Biokaasun laite ja vuokrakustannukset ovat samat kuin maakaasulla. Erona maakaasuun on ekologisempi ja kalliimpi energia.

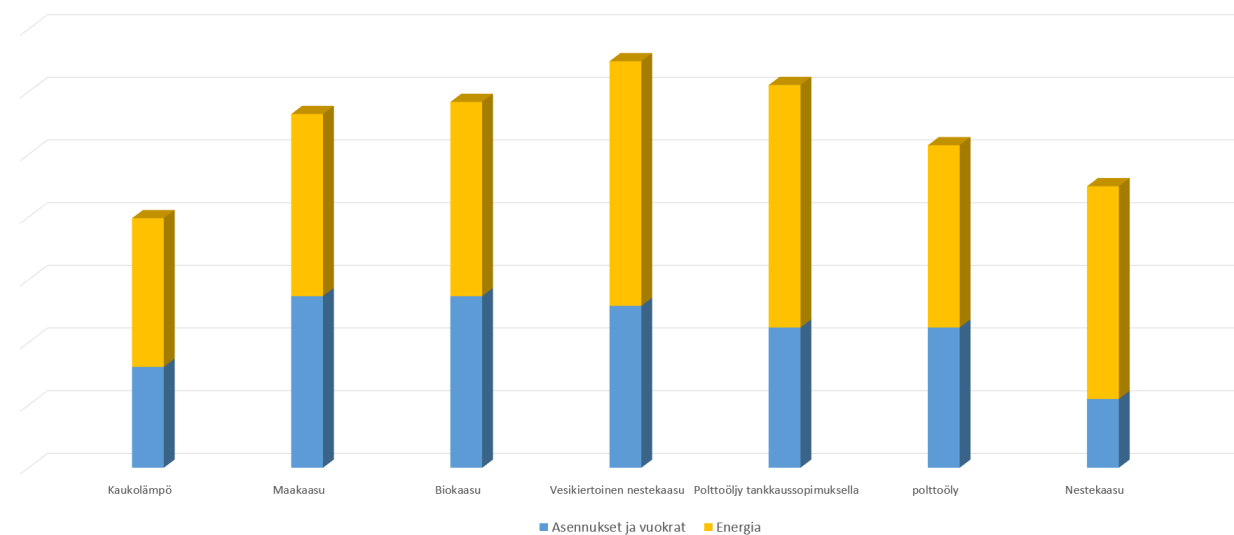
Neljännessä pylväässä on esitetty nestekaasun kustannukset, jos käytetään lämpökeskuskonttia ja vesikiertoista lämmönjakoa, joissa lämpö jaetaan vesikiertopuhaltimilla. Nestekaasun kustannuksissa on käytetty 3000 kg kaasusäiliötä sekä kaasunhöyrystimiä. Lämpökeskuskonttia käytettäessä palokaasuja ei johdeta lämmitettävään tilaan, joka laskee nestekaasun hyötysuhdetta.

Viides pylväs osoittaa polttoöljyn kustannuksia, kun käytetään polttoöljykäyttöistä lämpökeskuskonttia, lämmönjakotapana on vesikiertojärjestelmä sekä vesikiertopuhaltimet

Kuudennessa pylväässä on esitetty perinteisempi nestekaasun käyttötapa, missä on käytetty 3000 kg nestekaasusäiliötä sekä höyrystimiä. Kaasu on jaettu rakennukseen nestekaasurunkolinjoja pitkin, josta kaasu on jaettu jakotukkien kautta eteenpäin.

Diagrammista voidaan todeta, että energiamuodon valinnalla on vaikutusta rakennusaikaisen lämmityksen kustannuksiin. Usein kaukolämpöliittymän liittymiskustannuksia pidetään korkeana. Kaukolämmön liittymiskustannukset ovat palautettavia kuluja, joista vähennetään purkukustannukset. Siten todelliseksi kustannukseksi jää johtomaksu sekä liittymän purkukustannukset. Tämä tekee kaukolämmöstä kannattavan vaihtoehdon myös rakennusaikaisen lämmityksen valintaan, vaikka rakennuksen lopullinen lämmitysmuoto olisikin jokin toinen.

Rakennusaikaisen lämmityksen kustannusjakauma



6 Yhteenveto

Tutkimuksen perusteella voidaan todeta, että tuotannon suunnittelulla on erittäin suuri merkitys rakennusaikaisen lämmityksen onnistumisessa sekä kustannuksissa. Suurin säästö saadaan aikaiseksi, jos rakennuksen oma lämmitysjärjestelmä pystytään ottamaan käyttöön mahdollisimman aikaisessa vaiheessa. Tällöin säästytään kalustovuok- rilta ja saadaan lämpö jaettua tasaisesti rakennukseen. Toisena tärkeänä tuotannon suunnittelun vaiheena on elementtiasennuksen ja ikkuna-asennuksen tahdistaminen lähekkäin. Näin saadaan vähennettyä suojauksen tarvetta sekä siihen kuluvia resurs- seja.

Käyttö- ja yhteiskustannukset, johon rakennusaikainen lämmitys kuuluu, on suuri ku- luerä työmaan kustannuksista. Niiden laskeminen perustuu lähinnä aikaisempiin lähtö- tietoihin. Käyttö- ja yhteiskustannusten tarkka määrittäminen voi olla tarjouslaskennas- sa yhtenä etulyöntiasemana. Tämä insinöörityö auttaa osaltaan valitsemaan kustan- nustehokkaan lämmitysratkaisun, ja sen avulla voidaan laskea seuraavien hankkeiden arvioitu rakennusaikaisen lämmityksen kustannus.

Tämän insinöörityön tavoite saavutettiin eli tutkimuksen avulla pystytään helpottamaan seuraavien hankkeiden tuotannonsuunnittelua ja lämmitysmuodon valintaa, sekä arvi- oimaan valitun lämmitysmuodon kustannuksia.

Tutkimuksen positiivisena huomiona oli väliaikaisen kaukolämpöliittymän edullisuus. Väliaikainen kaukolämpöliittymä osoittautui vertailujen halvimmaksi lämmitysvaihtoeh- doksi. Uskon, että tämä huomioidaan seuraavissa hankkeissa, vaikkei niihin tulisikaan lopulliseksi lämmitysmuodoksi kaukolämpöä.

Tulevaisuudessa, jos energian hinta jatkaa nousua, vaikuttaa se myös rakentamisen kustannuksiin, joten on erityisen tärkeää osata valita kustannustehokkain ratkaisu. Eh- kä tekniikan kehittyessä saadaan kehitettyä joitain uusia innovatiivisia ratkaisuja myös rakennusaikaiselle lämmitykselle. Voi olla, että tulevaisuudessa rakennusaikainen lämmitys tulee olemaan osa sertifiointijärjestelmiä, kuten LEED- ympäristösertifikaatti.

Tällä hetkellä LEED ei ota huomioon rakennusaikaisen lämmityksen päästövaikutuksia. Jos tällainen muutos tulisi, jouduttaisiin näissä hankkeissa miettimään rakennusaikainen lämmitys päästövaikutukset huomioon ottaen.

7 Johtopäätökset

Insinööriyön tavoitteena oli tutkia rakennusaikaisen lämmityksen kustannuksia ja menetelmiä Skanska Talonrakennus Oy:n Etelä-Suomen toimitilayksikölle. Vertailukohteenä käytettiin Skanskan Aviabulevardi II toimitilahanketta. Työn tuloksia voidaan soveltaa uusien toimitilahankkeiden lähtötietoina, sekä tuotannonsuunnittelun osana. Rakennusaikaisesta lämmityksestä, sen menetelmistä tai kustannuksista, ei ole aikaisempaa tutkimusta, jossa olisi keskitytty juuri edellä mainittuihin asioihin. Aikaisemmissa töissä aihetta sivutaan lähinnä kosteudenhallinnan osalta. Työn tarkoituksena oli löytää kustannustehokkaita ja toimivia lämmitysvaihtoehtoja toimitilarakentamisen runkovaiheessa. Työssä tutkittiin myös aukkojen suojauksen menetelmiä, lämpöhäviöitä sekä niiden kustannusvaikutuksia.

Työn tuloksena syntyi kustannusvertailu, jossa on tehty aukonsuojien kannattavuusvertailu eri materiaaleja käytettäessä. Siihen, kuinka paljon aukon suojaukseen kannattaa käyttää resursseja, vaikuttaa aukon koko ja kuinka pitkäaikainen suojaus on kyseessä. Jos aukon suojaus on lyhytaikainen, ei siihen kannata käyttää suuria resursseja.

Toinen kustannusvertailun kohde oli eri lämmitysmenetelmien kustannukset, jotka tehtiin Vantaan Energian Aviabulevardi II kohteelle tekemän energiankulutusarvion perusteella. Kaikissa eri vertailuissa käytettiin samoja energiankulutusarvoja. Näin vertailut olivat yhdenmukaisia. Laitevuokrien kustannukset ja käytettävän energian kustannukset saatiin eri toimittajilta. Kustannusten lähtötietoina käytettiin Aviabulevardi II hanketta. Lisäksi vertailuun otettiin Clarion Hotelli Vantaan rakennusaikaiset kustannukset. Clarionin rakennusaikainen lämmityskausi oli sama kuin Aviabulevardi II hankkeessa. Clarion-hankkeen kustannukset olivat suhteessa pienemmät kuin Aviabulevardi II hankkeessa. Tämä selittyi osittain energian hinnan nousulla. Kustannusvertailuista kävi ilmi, kuinka suuri osa kustannuksista ovat laitevuokrat ja asennuskustannukset. Vuokrat ja asennuskustannukset voivat muodostaa lähes 50 prosenttia kokonaiskustannuksista.

Lähteet

- 1 <https://www.rakennustieto.fi/Downloads/RK/RK99s697.pdf>, luettu 4.12.2017
- 2 Suomen Rakennusteollisuusliitto ry Dick Björkholz. Rakennuksen kuivattaminen. Consulting Ab ja Rakentajain kustannus Oy 1990.
- 3 Ilmatieteenlaitos, talven 2016-2017 sää. <http://ilmatieteenlaitos.fi/talvi-2016-2017>, luettu 4.12.2017.
- 4 Rakennustieto 07-3032, luettu 12.12.2017
- 5 Edita Publishing Oy Kari Suvanto. Tekniikan Fysiikka. 5.painos. 2012. Bookwell Oy
- 6 Ratu S-1234 Olosuhteiden vaikutus rakentamisessa, luettu 12.12.2017
- 7 Rakennustyömaan Energiatutkimus, Diplomityö, Jari Hämäläinen, <https://www.rakennusteollisuus.fi/globalassets/rakentamisen-kehittaminen/rakennustyomaan-energiatutkimus.pdf>, luettu 28.12.2017
- 8 Ratu S-1234 Olosuhteiden vaikutus rakentamisessa, luettu 29.12.2017
- 9 Bioenergian pikkujättiläinen, luettu 29.12.2017
<http://www.bioenergianeuvoja.fi/faktaa/biopolttoaineiden-muuntokertoimia/>
- 10 Rakennusaikainen kosteudenhallinta Sami Venäläisen insinööritö, https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/73679/Venalainen_Sami.pdf?sequence=1&isAllowed=y, luettu 3.1.2018
- 11 Skanska konevuokrauksen sivut <https://skanskakonevuokraus.fi>, luettu 3.1.2018
- 12 Aga kotisivut <http://www.aga.fi>, luettu 3.1.2018
- 13 Rakentamisen kosteudenhallinta, <http://www.kosteudenhallinta.fi/index.php/fi/toimet/suojaus/tyoemaan-suojaus>, luettu 19.1.2018
- 14 Talhu Oy:n kotisivut, <https://www.talhu.fi/tuotteet/energia-ja-lampo/rakennuslammitin/siirrettavat-kiertovesilammitimet/>, luettu 19.1.2018

- 15 Rakentaja.fi,
https://www.rakentaja.fi/artikkelit/12912/rakentaminen_kesken_ota_viileneva_ilma_huomioon_lammityksella.htm, luettu 19.1.2018
- 16 Rakennusten lämpö- ja kosteusfysikaalisia näkökohtia,
<https://www.rakennustieto.fi/Downloads/RK/RK120401.pdf>, luettu 25.1.2018
- 17 Sisäilmayhdisty ry, <http://www.sisailmayhdistys.fi/Terveelliset-tilat/Kosteusvauriot/Kosteustekninen-toiminta/Ilmavirtaukset-rakennuksessa>, luettu 25.1.2018
- 18 C3 Suomen rakentamismääräyskokoelma Ympäristöministeriö, Rakennetun ympäristön osasto. Verkkodokumentti
www.ym.fi/download/noname/%7B926E23F8-D52D-4129-98AB.../101088<http://www.sisailmayhdistys.fi/Terveelliset-tilat/Kosteusvauriot/Kosteustekninen-toiminta/Ilmavirtaukset-rakennuksessa>, luettu 2.3.2018
- 19 Ilmatieteenlaitoksen verkkosivut. <http://ilmatieteenlaitos.fi/helmikuu>, luettu 2.3.2018
- 20 <http://www.strong.fi/fi/tuotteet-ja-tarvikkeet/kuivaimet-ja-puhaltimet/puhaltimet-ja-sivukanavaturbiinit/tuote/al-aksiaalipuhaltimet>, luettu 7.3.2018
- 21 Skanskan Nurmijärven kalustokeskuksen lämmitys- ja kuivatuskalustovastaa-
van haastattelu